ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

FUNCTIONAL ASSESSMENT AND IMPROVEMENT OF A CONTROL STRATEGY FOR AUTOMATED PART SORTING ON A DIDACTIC WORKBENCH USING A SIEMENS S7-1200 PLC

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E APRIMORAMENTO DE UMA ESTRATÉGIA DE CONTROLE PARA SEPARAÇÃO AUTOMATIZADA DE PEÇAS EM BANCADA DIDÁTICA COM CLP SIEMENS S7-1200

TAIRO COLLYER
https://orcid.org/0009-0002-1327-197X/ tcollyer87@gmail.com
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI Amazonas, Brasil

RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
https://orcid.org/0009-0005-0845-3631/ ryanaraujogomes35@gmail.com
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI Amazonas, Brasil

ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR
http://lattes.cnpq.br/3566651463333833 /rosumiro.junior@am.senai.br
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI Amazonas, Brasil

Recebido em: 29/06/2026
Aprovado em: 13/10/2026
Publicado em: 14/11/2026

RESUMO

Este artigo apresenta a avaliação funcional e o aprimoramento de uma estratégia de controle para separação automatizada de peças em uma bancada didática modular AUAPL4000. A plataforma integra um controlador lógico programável Siemens SIMATIC S7-1200, CPU 1214C DC/DC/DC, sensores industriais, atuadores pneumáticos e uma esteira transportadora acionada por motor de corrente contínua. A estratégia inicialmente implementada foi desenvolvida em linguagem Ladder no TIA Portal V17 e submetida a 90 ciclos experimentais com alimentação manual, nos quais foram registradas 90 separações corretas. Para a proporção observada, o intervalo exato de confiança de 95% foi de 95,98% a 100%, resultado restrito às condições experimentais avaliadas. A análise funcional identificou limitações associadas ao emprego de temporização fixa, à sequência de parada da esteira e ao intertravamento dos atuadores. A partir da caracterização física da bancada e da verificação do mapeamento de entradas e saídas, foi desenvolvida uma estratégia sequencial orientada por eventos, baseada na memorização da classificação, no acionamento exclusivo dos atuadores e na confirmação das posições de avanço e recuo e da passagem das peças pelas rampas de descarte. Os resultados demonstram o potencial da bancada para atividades práticas de automação industrial e indicam a necessidade de validação experimental da estratégia aprimorada em estudos posteriores.

Palavras-chave: automação industrial; bancada didática; controle sequencial; CLP Siemens S7-1200; separação de peças; sensores industriais.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

FUNCTIONAL ASSESSMENT AND IMPROVEMENT OF A CONTROL STRATEGY FOR AUTOMATED PART SORTING ON A DIDACTIC WORKBENCH USING A SIEMENS S7-1200 PLC

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

ABSTRACT
This article presents the functional evaluation and improvement of a control strategy for automated part sorting on an AUAPL4000 modular educational workbench. The platform integrates a Siemens SIMATIC S7-1200 programmable logic controller (CPU 1214C DC/DC/DC), industrial sensors, pneumatic actuators, and a conveyor belt driven by a direct current motor. The strategy initially implemented was developed in Ladder logic in TIA Portal V17 and subjected to 90 experimental cycles with manual feeding, in which 90 correct sortings were recorded. For the observed proportion, the exact 95% confidence interval was 95.98% to 100%, a result restricted to the experimental conditions evaluated. The functional analysis identified limitations associated with the use of fixed timing, the conveyor stop sequence, and actuator interlocking. Based on the physical characterization of the workbench and the verification of the input and output mapping, an event-driven sequential strategy was developed, grounded in sorting memorization, exclusive actuation of the actuators, and confirmation of the advance and retract positions and of the passage of the parts through the discard chutes. The results demonstrate the workbench's potential for practical industrial automation activities and indicate the need for experimental validation of the improved strategy in future studies.
Keywords: automated sorting; didactic workbench; industrial automation; industrial sensors; sequential control; Siemens S7-1200 PLC.

1 INTRODUÇÃO

O termo Indústria 4.0 surgiu na Feira de Hanover, em 2011, na Alemanha, como iniciativa de política industrial voltada à reorganização das cadeias produtivas pela integração entre manufatura e tecnologias digitais. Esse conceito foi posteriormente aprofundado na literatura ao ser associado à convergência de tecnologias que aproxima os domínios físico, digital e biológico, com impactos marcados pela velocidade de difusão, pela abrangência das transformações e pelo caráter sistêmico das mudanças (Schwab, 2016).

Na indústria, essa transformação desloca a automação de sistemas isolados para arquiteturas conectadas, nas quais sensores, controladores, atuadores e softwares de supervisão trocam dados em tempo real. Com isso, o controle deixa de se limitar ao acionamento sequencial de máquinas e passa a incluir diagnóstico, rastreabilidade, monitoramento contínuo e suporte à tomada de decisão. A automação industrial contemporânea exige, portanto, domínio simultâneo de eletricidade, eletrônica, programação, instrumentação e integração de sistemas.

Esse cenário também redefine a formação de técnicos e engenheiros. Implementar, comissionar e manter sistemas automatizados requer capacidade de interpretar sinais de sensores industriais, programar controladores lógicos programáveis, depurar lógicas de controle e compreender o comportamento físico dos atuadores. Estudos recentes com CLPs Siemens S7-1200 e sistemas didáticos de separação confirmam a relevância de plataformas experimentais para

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

aproximar o ensino técnico das práticas industriais (Bhat et al., 2025; Imnadir et al., 2024; Wardhana et al., 2023; Vagas et al., 2024).

A formação em automação industrial exige que o estudante relacione fenômenos físicos, sinais elétricos, lógica de controle e movimento dos atuadores. Bancadas modulares tornam essa integração observável em escala laboratorial, mas a simples disponibilidade da plataforma e de um programa de demonstração não assegura que uma lógica desenvolvida em atividade acadêmica seja robusta, reproduzível ou adequadamente documentada.

O problema técnico que motivou o estudo consistiu no desenvolvimento e na avaliação de uma estratégia de controle capaz de integrar sensores de identificação de material e dimensão, uma esteira transportadora e atuadores pneumáticos em uma sequência automatizada de separação de peças. A implementação inicial evidenciou limitações relacionadas ao uso de temporização fixa, ao mapeamento de sinais e à coordenação entre os atuadores, motivando a análise funcional da estratégia e sua posterior reestruturação com base no comportamento físico do sistema.

Trabalhos correlatos abordam sistemas de separação em ambiente simulado com S7-1200 e Factory I/O(Bhat *et al.*, 2025), separação pneumática de garrafas com S7-1200 (Imnadir *et al.*, 2024), classificação por altura com CLP e Sequential Function Chart (Try Wardhana; Zamheri; Puspa, 2023)e atualização de estação modular Festo com IO-Link (Vagas *et al.*, 2024b). A lacuna tratada está na documentação crítica de uma lógica autoral aplicada a uma bancada industrial didática existente, incluindo a distinção entre configuração do fabricante, implementação dos autores, evidências experimentais e melhorias propostas.

O objetivo deste trabalho é avaliar funcionalmente a estratégia de controle inicialmente implementada, caracterizar a correspondência entre dispositivos físicos e sinais do CLP, identificar vulnerabilidades de operação e desenvolver uma estratégia sequencial aprimorada. A contribuição concentra-se na comparação entre uma solução baseada predominantemente em temporização e uma abordagem orientada por eventos, complementada por mapeamento de entradas e saídas, modelagem por GRAFCET, condições de intertravamento e critérios de detecção de falhas.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CLP, linguagem Ladder e modelagem sequencial

O Controlador Lógico Programável, CLP, internacionalmente denominado Programmable Logic Controller, PLC, é um computador industrial de estado sólido, construído com componentes semicondutores e projetado para operar em ambientes fabris. Sua função é armazenar e executar instruções de controle para sequenciamento lógico, temporização, contagem, operações aritméticas, manipulação de dados e comunicação com outros dispositivos de automação. Na pirâmide da automação, o CLP ocupa o nível de controle, fazendo a interface entre sensores e atuadores do chão de fábrica e os sistemas de supervisão, como IHM (Interface Homem-Máquina) e SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, em tradução livre) (Silva, 2018).

A IEC (International Electrotechnical Commission – Comissão Eletrotécnica Internacional, tradução livre) 61131-1 define o CLP como um sistema eletrônico digital desenvolvido para uso industrial, com memória programável destinada ao armazenamento de instruções do usuário e à execução de funções lógicas, sequenciais, temporizadas, contadoras e aritméticas, controlando máquinas e processos por meio de entradas e saídas digitais ou analógicas (International Electrotechnical Commission, 2025).

A arquitetura básica de um CLP inclui CPU, memórias de programa e de dados, módulos de entradas e saídas e fonte de alimentação. O processamento ocorre em ciclo de varredura, também chamado scan: o controlador lê as entradas, executa a lógica programada, atualiza as saídas e reinicia o ciclo enquanto estiver em operação.

O Siemens SIMATIC S7-1200 é uma família de CLPs compactos aplicada em sistemas de pequeno e médio porte. A CPU 1214C DC/DC/DC utilizada neste trabalho possui entradas e saídas digitais integradas, entradas analógicas integradas, alimentação em 24 Vcc, interface PROFINET e possibilidade de expansão por módulos de sinal e módulos de comunicação. A configuração de hardware, a programação e o diagnóstico são realizados no TIA Portal (Siemens Aktiengesellschaft, 2024).

Historicamente, o CLP surgiu como resposta à necessidade de substituir painéis de relés eletromecânicos por controladores robustos, reprogramáveis e adequados ao ambiente industrial.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

Richard E. Morley e a equipe da Bedford Associates desenvolveram o protótipo Modicon 084, alinhado às demandas da divisão Hydra-Matic da General Motors, estabelecendo a base do primeiro CLP comercial (Ball, 2008; Silva, 2018).

O GRAFCET, normalizado pela IEC 60848:2013 (International Electrotechnical Commission, 2013), descreve o comportamento sequencial por etapas, transições e ações. Sua utilização antes da codificação permite explicitar estados, prioridades, condições de avanço, retorno e falha. Na tradução para Ladder (International Electrotechnical Commission, 2025)pelo método passo a passo, cada etapa pode ser representada por um bit de memória, as transições definem a ativação da etapa seguinte e o reset da anterior, e as saídas são associadas apenas às etapas nas quais devem permanecer ativas.

2.2 Sensores, pneumática e limitações da temporização fixa

Sensores indutivos identificam materiais condutores pela alteração de um campo eletromagnético, enquanto sensores capacitivos respondem à variação de capacitância causada pela aproximação do objeto; esses dispositivos de detecção de proximidade seguem a IEC 60947-5-2 (International Electrotechnical Commission, 2012). Na bancada, três sensores fotoelétricos retrorreflexivos SICK GRL18S-P2336 estão instalados em alturas distintas. O manual orienta ajustá-los para permanecerem acionados sem peça e desacionarem quando o objeto interrompe o feixe (SICK AG, 2026); por isso, a detecção de passagem pode ser tratada por borda de descida. Três amplificadores de fibra óptica Omron E3X-NA, identificados como FC1, FC2 e FC3, são utilizados para confirmar a presença das peças nas respectivas rampas de descarte.

Em um cilindro pneumático de dupla ação, o avanço e o recuo resultam da alimentação alternada das duas câmaras por uma válvula direcional. O tempo de movimento varia com pressão, vazão, regulagem de escape, carga, atrito, curso e condição mecânica. Consequentemente, um temporizador fixo não deve substituir a confirmação de posição ou de passagem. A bancada dispõe de sensores magnéticos SMC D-A93 para indicar avanço e recuo; na estratégia revisada, esses sinais constituem transições da sequência, enquanto temporizadores são reservados à supervisão de falhas.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

Estudos recentes demonstram a viabilidade de combinar CLPs, sensores, lógica sequencial e atuadores pneumáticos em aplicações didáticas e industriais, incluindo sistemas pneumáticos de prensagem e processos automatizados de separação de garrafas (IMNADIR et al., 2024; YADHUNANDAN et al., 2023)

Em circuitos com múltiplos atuadores, o intertravamento lógico é essencial para evitar acionamentos simultâneos indevidos. Nesse contexto, métodos de simplificação lógica, como mapas de Karnaugh, podem apoiar o desenvolvimento de circuitos pneumáticos com múltiplos atuadores controlados por CLP (Fawzi; Salloom, 2023).

A SB 1232 AQ, código 6ES7232-4HA30-0XB0, fornece sinal analógico de referência e não potência para o motor. Na implementação inicialmente ensaiada, o valor 26500 foi aplicado diretamente à saída analógica QW80. Considerando a escala digital de 0 a 27648, esse valor corresponde a aproximadamente 95,85% da faixa nominal. Para permitir ajuste parametrizável, a estratégia aprimorada adota uma variável percentual convertida para a escala da saída analógica. A determinação da velocidade linear da esteira requer, adicionalmente, a caracterização da interface de potência, do diâmetro efetivo do rolo e da configuração de contagem do encoder; a velocidade máxima nominal da esteira é de 0,2 m/s (200 mm/s).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento e escopo

Trata-se de um estudo aplicado, descritivo e experimental, voltado à avaliação funcional de uma estratégia de controle para separação automatizada de peças. Foram considerados a bancada AUAPL4000, a programação inicialmente implementada em nove Networks, registros fotográficos, documentação técnica do equipamento e informações de configuração utilizadas para estabelecer a correspondência entre os dispositivos de campo e os sinais do CLP. A avaliação experimental compreendeu 90 ciclos realizados em condições didáticas e com alimentação manual das peças. O estudo concentrou-se no desempenho funcional do sistema de automação, não incluindo avaliação de aprendizagem, percepção de estudantes ou indicadores pedagógicos.

O conceito de Modular Production System, MPS, Sistema de Produção Modular, em tradução livre, difundido pela Festo Didactic, é utilizado em cursos técnicos e de engenharia por

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

permitir a prática de programação, diagnóstico e integração de tecnologias de automação (Festo Didactic SE, 2020).

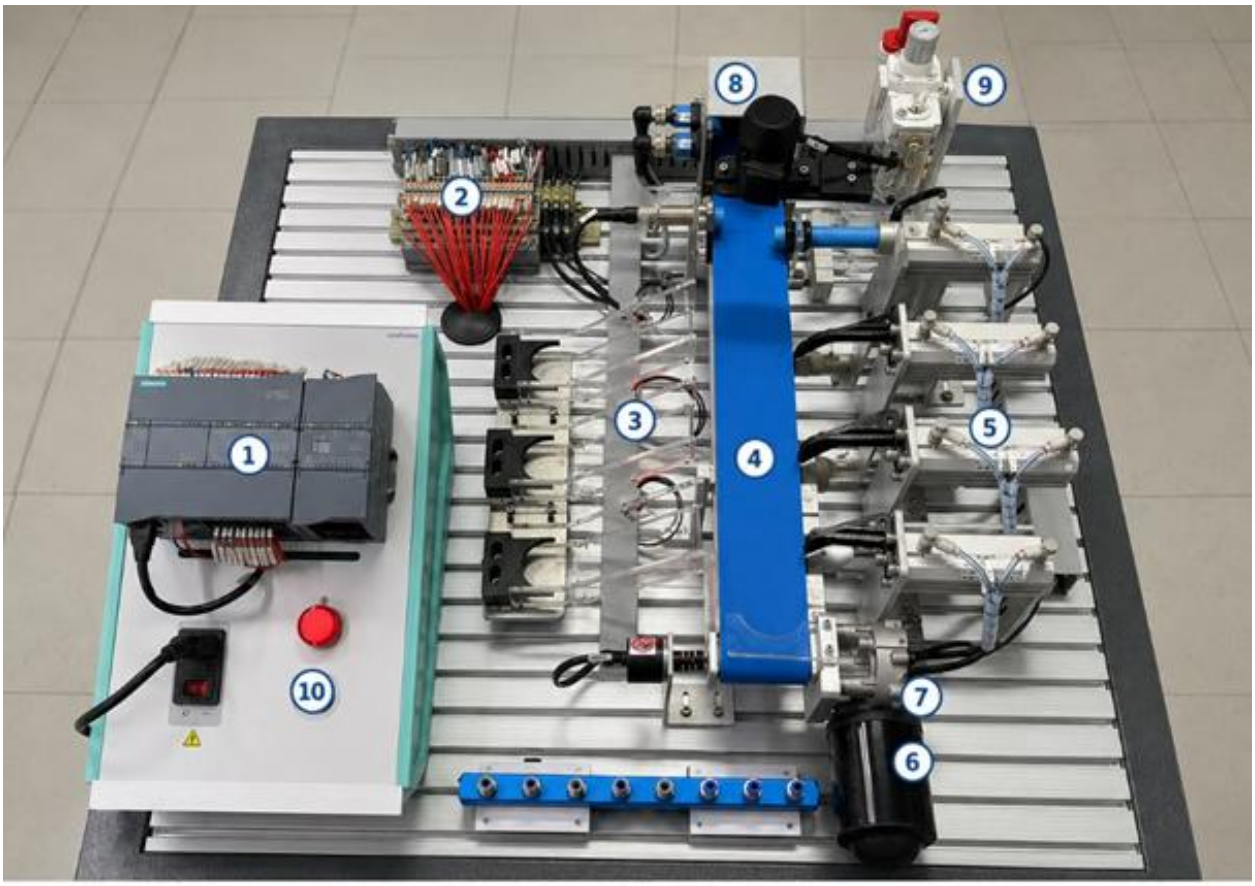
A bancada AUAPL4000 da Exxer segue a mesma lógica modular ao integrar CLP, sensores, atuadores pneumáticos e esteira transportadora em uma estrutura didática. Por ser reprogramável no TIA Portal V17, permite testar diferentes estratégias de controle sem alteração substancial da fiação física. Estudos sobre a integração de tecnologias como IO-Link em plataformas modulares também indicam possibilidades de ampliação do monitoramento, da rastreabilidade e do diagnóstico em sistemas didáticos de automação (Vagas *et al.*, 2024b).

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

3.2 Bancada e inventário de componentes

Figura 1 – Vista geral anotada da bancada AUAPL4000 utilizada no estudo



Identificação funcional corrigida dos principais conjuntos

1. CLP Siemens S7-1200 e módulos de expansão
2. Bornes de ligação e amplificadores dos sensores fotoelétricos
3. Sensores de detecção de material e conjunto fotoelétrico de classificação
4. Esteira transportadora
5. Três cilindros pneumáticos SMC com sensores magnéticos D-A93
6. Motorredutor de acionamento da esteira
7. Encoder incremental da esteira
8. Manifold de quatro eletroválvulas
9. Unidade de preparação do ar comprimido
10. Alimentação elétrica

Fonte: Dos autores (2026)

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

Quadro 1 – Inventário revisado dos componentes

Componente	Modelo ou especificação observada	Qtd.
CPU do CLP	Siemens SIMATIC S7-1200, CPU 1214C DC/DC/DC, 6ES7 214-1AG40-0XB0	1
Módulo de E/S digitais	Siemens SM 1223 DC/DC, 6ES7 223-1BH32-0XB0, 8 DI e 8 DQ em 24 Vcc	1
Placa de saída analógica	Siemens SB 1232 AQ, 6ES7 232-4HA30-0XB0	1
Sensores fotoelétricos de tamanho	SICK GRL18S-P2336, retrorreflexivos, saída PNP, instalados em três alturas	3
Sensores de material	Sensor indutivo cilíndrico M18 e sensor capacitivo 24 Vcc	2
Amplificadores de fibra óptica	Omron E3X-NA, identificados como FC1, FC2 e FC3 para as rampas de descarte	3
Encoder incremental	Autonics E40S6-360-3-T-24, 360 pulsos por revolução, canais A, B e Z	1
Cilindros de separação	SMC CD55B20-50, dupla ação, curso 50 mm, pressão máxima 1 MPa	3
Sensores magnéticos	SMC D-A93, confirmação de avanço e recuo dos três cilindros de separação	6
Atuador da estação de furação	Atuador pneumático associado à saída Q0.0; modelo não identificado nas fotografias	1
Eletroválvulas	Manifold com quatro válvulas 24 Vcc: uma para furação e três para separação; configuração direcional não identificada	4
Preparação do ar	Válvula manual de bloqueio, filtro, regulador, manômetro e elemento de tratamento	1 conj.
Esteira e motor	Esteira com motor CC 24 V; interface de potência não identificada	1
Sinalização	Não há botão de parada de emergência físico; o painel possui apenas sinaleiro (lâmpada vermelha) de indicação, além da chave geral	1

Fonte: Dos autores (2026)

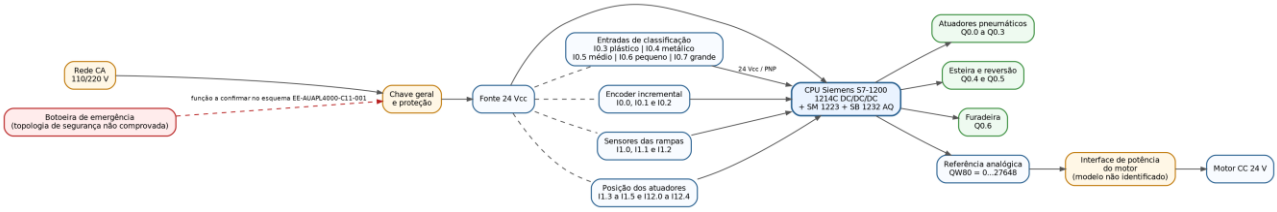
3.3 Arquiteturas elétrica e pneumática

A Figura 2 apresenta a arquitetura elétrica funcional considerada no estudo. O projeto de referência confirmou os endereços físicos dos sensores, do encoder e das saídas. Os endereços identificados estabelecem a interface entre os dispositivos de campo e a lógica de controle implementada no CLP. A saída QW80 fornece a referência analógica à interface de potência do motor, cujo modelo não foi identificado. O manual do fabricante informa que a montagem elétrica completa está no esquema EE-AUAPL4000-C11-001, documento não disponibilizado para este estudo (Exxer; Souza, 2025).

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

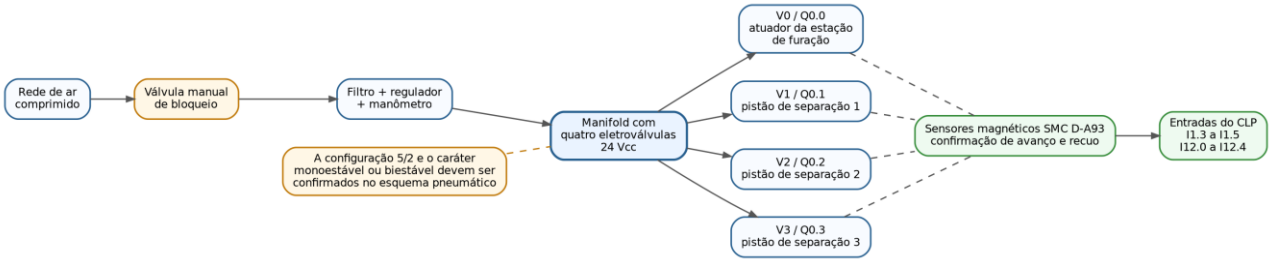
Figura 2 – Arquitetura elétrica funcional e endereçamento físico confirmado



Fonte: Dos autores (2026)

A Figura 3 representa a arquitetura pneumática funcional observada na bancada. Uma das quatro eletroválvulas está associada ao atuador da estação de furação, enquanto as demais comandam os três cilindros responsáveis pela separação das peças. Os cilindros de separação são de dupla ação e possuem sensores magnéticos SMC D-A93 para indicação das posições de avanço e recuo. A estação de furação integra a plataforma, porém não foi utilizada nos ensaios considerados neste estudo.

Figura 3 – Arquitetura pneumática funcional da bancada



Fonte: Dos autores (2026)

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

3.4 Mapeamento de entradas e saídas

Quadro 2 – Mapeamento revisado de entradas e saídas

Endereço	Tag de referência	Função física	Função na estratégia de controle
%I0.0	sensorEncoder1	Canal A do encoder	Medição de posição/velocidade
%I0.1	sensorEncoder2	Canal B do encoder	Sentido e quadratura
%I0.2	sensorEncoder3	Canal Z do encoder	Referência por volta
%I0.3	sensorPecaPlastica	Detecção de peça plástica/não metálica	Classificação de material
%I0.4	sensorPecaMetalica	Detecção de peça metálica	Classificação de material
%I0.5	sensorPecaMedia	Feixe intermediário do conjunto de tamanho	Classificação dimensional
%I0.6	sensorPecaPequena	Feixe inferior do conjunto de tamanho	Classificação dimensional
%I0.7	sensorPecaGrande	Feixe superior do conjunto de tamanho	Classificação dimensional
%I1.0	sensorRampaDescarte1	Confirmação de peça na rampa 1	Finalização do desvio 1
%I1.1	sensorRampaDescarte2	Confirmação de peça na rampa 2	Finalização do desvio 2
%I1.2	sensorRampaDescarte3	Confirmação de peça na rampa 3	Finalização do desvio 3
%I1.3	SensorPistaoFuradeiraAvancado	Posição avançada da estação de furação	Fora do escopo experimental
%I1.4	SensorPistaoFuradeiraRecuado	Posição recuada da estação de furação	Fora do escopo experimental

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

Endereço	Tag de referência	Função física	Função na estratégia de controle
%I1.5	SensorPistaoSep1Avancado	Pistão de separação 1 avançado	Transição de avanço
%I12.0	SensorPistaoSep1Recuado	Pistão de separação 1 recuado	Transição de recuo
%I12.1	SensorPistaoSep2Avancado	Pistão de separação 2 avançado	Transição de avanço
%I12.2	SensorPistaoSep2Recuado	Pistão de separação 2 recuado	Transição de recuo
%I12.3	SensorPistaoSep3Avancado	Pistão de separação 3 avançado	Transição de avanço
%I12.4	SensorPistaoSep3Recuado	Pistão de separação 3 recuado	Transição de recuo
%Q0.0	PistaoFuradeira	Válvula da estação de furação	Fora do escopo experimental
%Q0.1	PistaoSep1	Válvula do pistão de separação 1	Saída exclusiva de desvio
%Q0.2	PistaoSep2	Válvula do pistão de separação 2	Saída exclusiva de desvio
%Q0.3	PistaoSep3	Válvula do pistão de separação 3	Saída exclusiva de desvio
%Q0.4	LigarEsteira	Movimento principal da esteira	Transporte
%Q0.5	ReverteSentido	Reversão da esteira	Não utilizada nos ensaios
%Q0.6	Furadeira	Motor da furadeira	Fora do escopo experimental
%QW80	VelocidadeEsteira	Referência analógica da esteira	0 a 27648

Fonte: Dos autores (2026)

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

O mapeamento das entradas e saídas estabelece a correspondência entre os dispositivos físicos da bancada e os sinais utilizados pela lógica de controle. Os sensores destinados à classificação dimensional estão associados às entradas %I0.5, %I0.6 e %I0.7, enquanto os sensores instalados nas rampas de descarte correspondem às entradas %I1.0, %I1.1 e %I1.2. O monitoramento dos atuadores pneumáticos é realizado por sinais independentes de avanço e recuo, permitindo utilizar a posição física dos cilindros como condição de transição entre as etapas da sequência operacional. As saídas %Q0.1, %Q0.2 e %Q0.3 comandam individualmente os três atuadores responsáveis pelo desvio das peças, enquanto %Q0.4 é destinada ao acionamento da esteira transportadora.

3.5 Estratégia de controle sequencial e modelagem por GRAFCET

A correção proposta separa a seleção do critério, a memorização da classe e o movimento dos atuadores. Em modo material, a peça metálica é destinada ao pistão de separação 1 e a peça não metálica ao pistão de separação 2, preservando a atribuição usada nos ensaios dos autores. Em modo altura, apenas o pistão de separação 3 é habilitado quando a condição dimensional definida para o experimento é satisfeita. O sensor de altura F3 opera em modo light-on: sua saída permanece energizada (nível lógico 1) com o feixe livre e comuta para 0 quando uma peça alta interrompe o feixe. Por esse motivo, o contato normalmente fechado de F3 conduz exatamente na presença da peça alta, habilitando o desvio por CY4. As peças de ensaio têm diâmetro padrão de 40 mm e três graduações de altura, 30 mm (pequena), 40 mm (média) e 50 mm (grande); o feixe de F3 é posicionado de modo que somente a peça alta, de 50 mm, o interrompa, sendo essa a peça desviada por CY4. A seleção explícita do modo impede que material e altura disputem a mesma peça. Em qualquer modo, somente uma saída pneumática pode permanecer ativa.

Quadro 3 – Matriz de decisão proposta

Modo	Condição de classificação	Atuador exclusivo	Resultado	Transição
Material	%I0.4 = 1 e %I0.3 = 0	Pistão 1, %Q0.1	Peça metálica	destino memorizado e rampa 1 livre
Material	%I0.3 = 1 e %I0.4 = 0	Pistão 2, %Q0.2	Peça não metálica	destino memorizado e rampa 2 livre
Altura	F3 = 0 (peça alta, 50 mm, interrompe o feixe; contato	Pistão 3, %Q0.3	Separação por altura	modo altura ativo e rampa 3 livre

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

Modo	Condição de classificação	Atuador exclusivo	Resultado	Transição
	NF, sensor light-on)			
Qualquer	%I0.3 = 1 e %I0.4 = 1	Nenhum	Conflito de sensores e falha	ir para o estado de falha segura
Qualquer	Classe inválida ou rampa ocupada	Nenhum	Aguardar ou sinalizar falha	permanecer em transporte/classificação

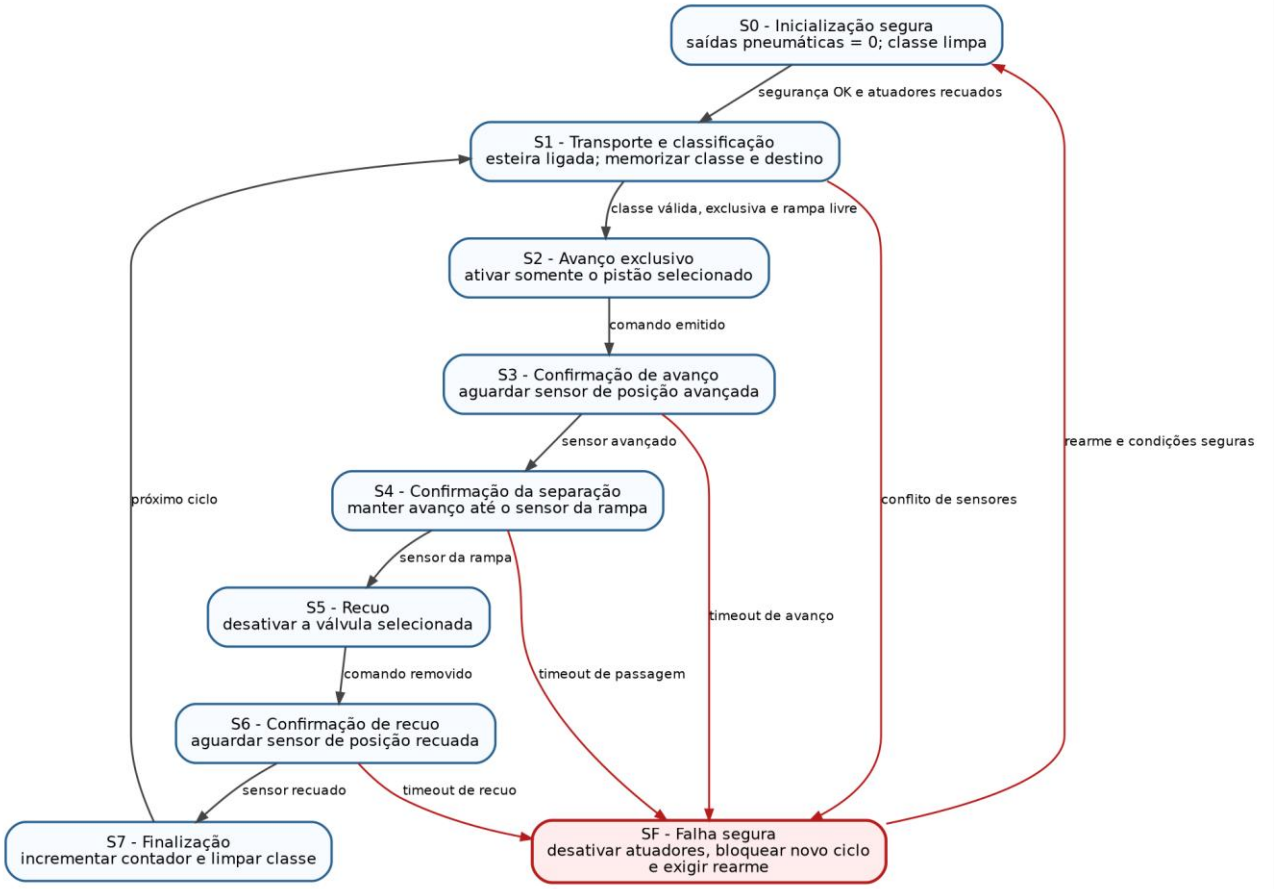
Fonte: Dos autores (2026)

A Figura 4 apresenta a estratégia sequencial desenvolvida para o sistema. Após a classificação da peça, o destino correspondente é memorizado e o respectivo atuador é habilitado. A confirmação da posição avançada do cilindro caracteriza a conclusão do movimento de avanço, enquanto o sensor instalado na rampa confirma a passagem da peça pelo ponto de descarte. Após a desativação da saída, a confirmação do recuo encerra o ciclo e habilita o sistema para uma nova classificação. Tempos máximos de avanço, passagem e recuo são empregados para identificar condições anormais e direcionar o processo a um estado de falha segura.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

Figura 4 – GRAFCET da estratégia de controle sequencial



Fonte: Dos autores (2026)

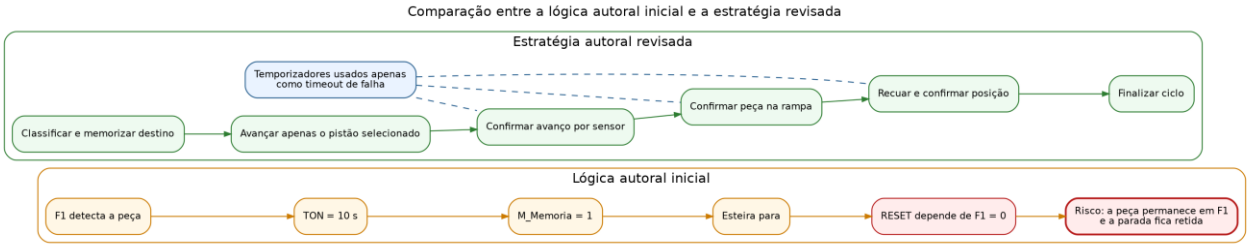
3.6 Análise funcional da estratégia inicialmente implementada

Na estratégia inicialmente implementada, as Networks 1 a 3 utilizam um contato normalmente fechado associado à memória M0.0 para habilitar a esteira e a transferência do valor 26500 para QW80. Após a permanência do sinal de detecção por 10 s, a memória é ativada e a esteira é interrompida. Como a liberação da memória depende da alteração do mesmo sinal utilizado na detecção, configura-se uma condição potencial de retenção, na qual a parada da esteira pode impedir a saída da peça da região de sensoriamento e, consequentemente, impedir a continuidade do ciclo.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

Figura 5 – Comparação entre a lógica autoral inicial e a estratégia revisada



Fonte: Dos autores (2026)

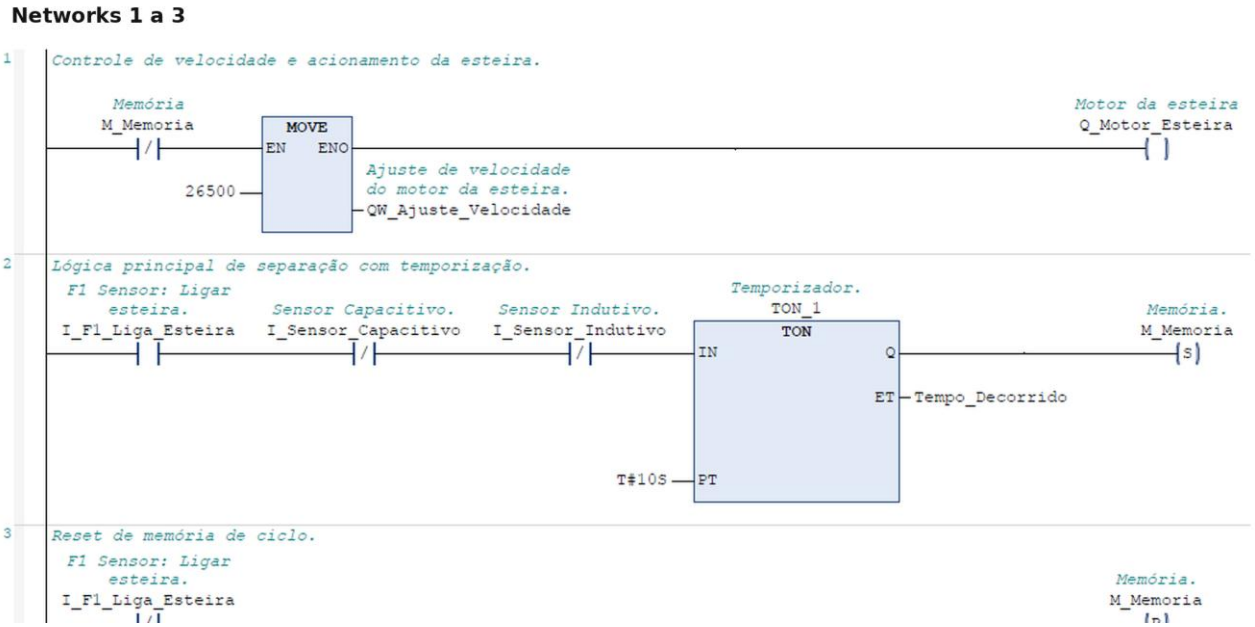
A correção elimina o temporizador de 10 s como condição de posicionamento. O tempo passa a ser empregado apenas como limite máximo para detectar falha. A classificação, o avanço, a passagem pela rampa e o recuo são confirmados por sinais físicos distintos. Dessa forma, o término do ciclo não depende de a peça liberar o mesmo sensor que provocou a parada.

Nas Networks 4 a 9 da versão inicial, bobinas SET e RESET comandam os três cilindros, mas o intertravamento não aparece de forma simétrica em todos os ramos. Na estratégia revisada, cada estado atribui explicitamente TRUE a uma única saída e FALSE às demais. Essa escrita determinística reduz a possibilidade de saídas memorizadas simultaneamente e facilita a implementação de um estado global de falha.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

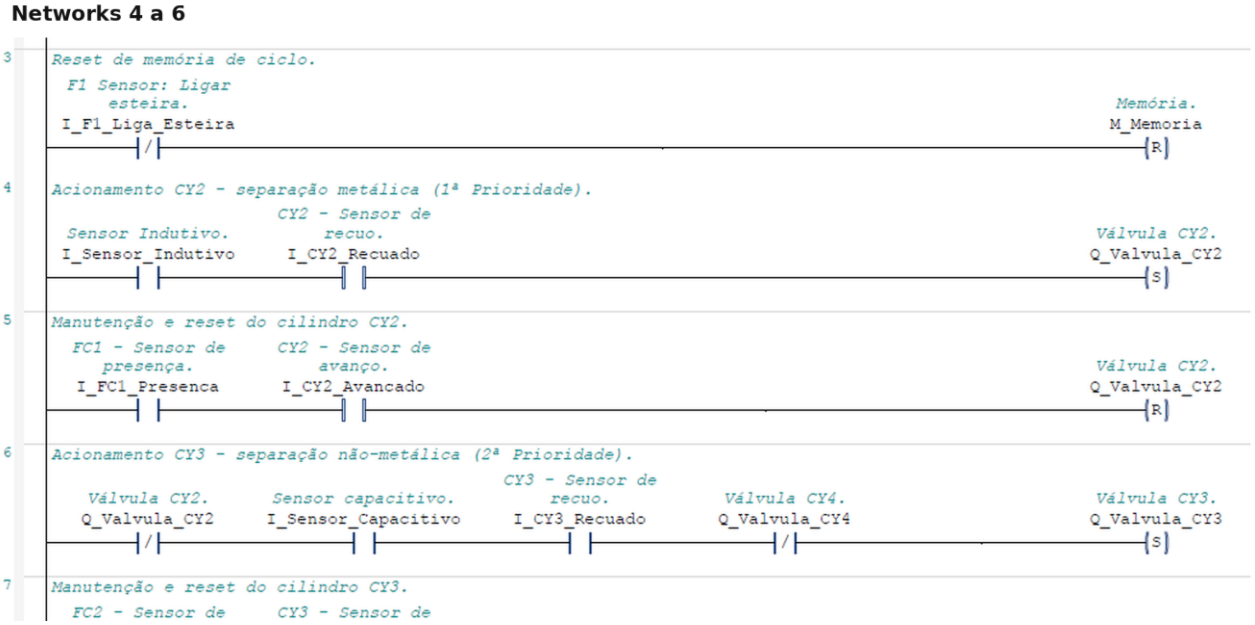
TAIRO COLLYER
RYAN ARAÚJO NASCIMENTO
ROSUMIRO TRINDADE JUNIOR

Figura 6a – Versão autoral inicial em Ladder, Networks 1 a 3



Fonte: Dos autores (2026).

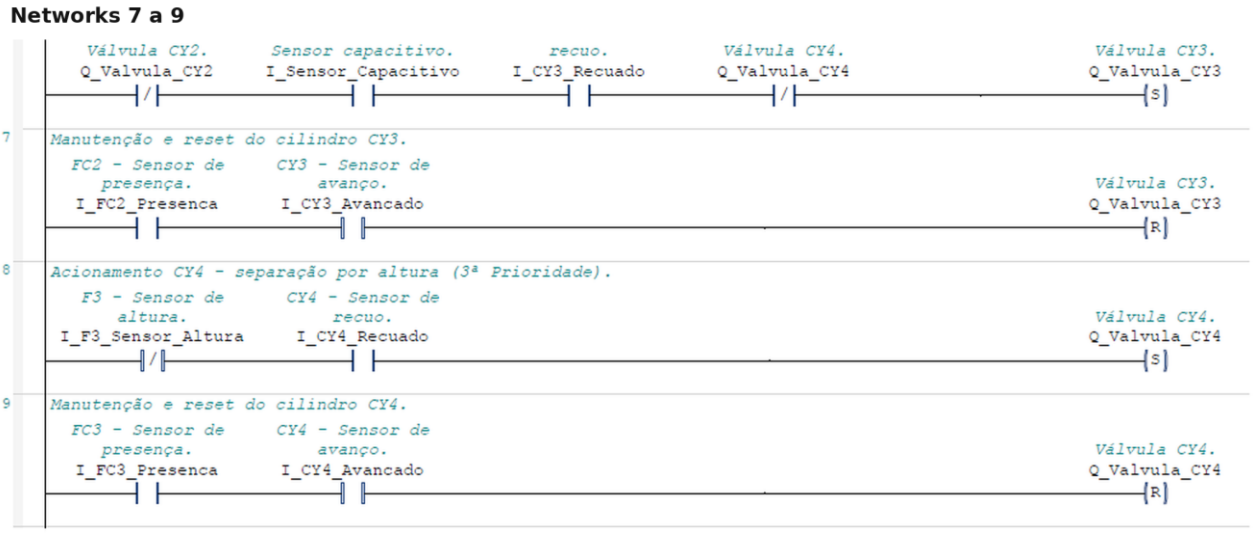
Figura 6b – Versão autoral inicial em Ladder, Networks 4 a 6



Fonte: Dos autores (2026)

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

Figura 6c – Versão autoral inicial em Ladder, Networks 7 a 9



Fonte: Dos autores (2026)

3.7 Saída analógica

O valor fixo 26500 representa 95,85% da escala nominal 0 a 27648 e corresponderia teoricamente a 9,58 V se a saída estivesse configurada em 0 a 10 V. Na estratégia aprimorada, a constante é substituída por uma variável percentual, calculando QW80 = REAL_TO_INT(velocidade_porcentagem × 276,48). O encoder Autonics de 360 pulsos por revolução permite medir a rotação, mas a velocidade linear exige registrar o diâmetro efetivo do rolo e o modo de contagem dos canais A e B. A velocidade máxima da esteira é de 0,2 m/s (200 mm/s), correspondente à escala cheia (QW80 = 27648); portanto, o comando QW80 = 26500 utilizado nos ensaios equivale a 95,85% da escala, ou aproximadamente 0,19 m/s (192 mm/s). O acionamento da esteira segue a cadeia CLP e placa SB 1232 AQ, interface de potência (driver) e motor de corrente contínua: a saída QW80 fornece apenas a referência de velocidade (0 a 10 V ou 0 a 20 mA, conforme a configuração no TIA Portal), e não a potência, enquanto a interface de potência, alimentada por fonte externa dimensionada para o motor, modula a tensão aplicada aos terminais do motor CC, tipicamente por um estágio com entrada analógica e saída modulada. O modelo específico dessa interface não foi identificado na documentação disponibilizada, permanecendo como limitação. O quadro elétrico não foi aberto para inspeção interna neste estudo, o que impediu a identificação do modelo do driver; a topologia descrita corresponde ao arranjo funcional esperado

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

para essa classe de acionamento e sua confirmação depende da abertura e inspeção do painel em trabalho futuro.

Quadro 4 – Dados necessários para caracterizar o controle de velocidade

Parâmetro	Informação
Comando utilizado nos ensaios iniciais	QW80 = 26500
Percentual da escala	95,85% de 27648
Tensão teórica	9,58 V, somente se a faixa estiver configurada em 0 a 10 V
Comando parametrizado proposto	QW80 = REAL_TO_INT(velocidade_porcentagem × 276,48)
Encoder identificado	Autonics E40S6-360-3-T-24, 360 pulsos/revolução, canais A/B/Z
Cálculo da velocidade linear	Contagem de pulsos por intervalo × circunferência do rolo; diâmetro e quadratura devem ser registrados. Velocidade máxima: 0,2 m/s (200 mm/s) na escala cheia (QW80 = 27648); nos ensaios, QW80 = 26500 ≈ 95,85% ≈ 0,19 m/s (192 mm/s)
Interface de potência	Modelo não identificado na documentação; funcionalmente, driver alimentado por fonte externa que recebe a referência analógica de QW80 e modula a tensão do motor CC

Fonte: Dos autores (2026)

3.8 Protocolo experimental

Os resultados disponíveis foram organizados em quatro grupos: 20 ciclos com peças metálicas, 20 com peças não metálicas, 20 com classificação por altura e 30 ciclos com alimentação alternada. A alimentação das peças foi manual e a pressão de operação foi informada como 6 bar. Não foram preservados registros individuais de cada ciclo, a massa, a cor e o acabamento superficial das peças ou ocorrências eventualmente descartadas. As peças utilizadas possuem diâmetro padrão de 40 mm e alturas de 30 mm (pequena), 40 mm (média) e 50 mm (grande). As peças plásticas são de polímero técnico com acabamento fosco e opaco, em cores como preta, branca ou vermelha, enquanto as metálicas são de alumínio anodizado. Ambos os tipos possuem bases e topos retificados e faces planas, o que mantém as peças aprumadas sobre a esteira e reduz leituras falsas dos sensores ópticos e do sensor indutivo. As massas aproximadas são de 45 g, 60 g e 75 g para as peças plásticas e de 100 g, 135 g e 170 g para as peças metálicas, nas alturas de 30 mm, 40 mm e 50 mm, respectivamente. A velocidade linear efetiva foi de aproximadamente 0,19 m/s (192 mm/s), obtida da velocidade máxima de 0,2 m/s (200 mm/s) e do

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

comando QW80 = 26500. Para futuras avaliações experimentais, propõe-se o registro individual das condições e dos resultados de cada ciclo, conforme os parâmetros apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Elementos do protocolo para revalidação

Elemento	Registro necessário
Características das peças	Registrar material, altura, diâmetro, massa, cor e acabamento de cada corpo de prova.
Critério de altura	Registrar o limiar físico e a combinação dos três feixes fotoelétricos.
Posição dos dispositivos	Medir distâncias entre sensores, cilindros e rampas.
Velocidade	Registrar QW80, tensão medida, pulsos do encoder e velocidade linear.
Pneumática	Registrar pressão, regulagens de fluxo e tempo de avanço/recuo.
Rastreabilidade	Registrar categoria esperada, destino observado e resultado de cada ciclo.
Falhas	Executar testes de conflito, ausência de avanço, ausência de peça na rampa e ausência de recuo.
Segurança	Documentar a atuação da emergência e o procedimento de rearme.

Fonte: Dos autores (2026)

3.9 Segurança e condição de falha

A bancada não dispõe de botão de parada de emergência físico; o painel possui apenas a chave geral de energização e um sinaleiro (lâmpada vermelha) de indicação. O manual confirma a existência da chave geral e da alimentação interna de 24 Vcc (Exxer; Souza, 2025), mas remete a montagem elétrica ao esquema EE-AUAPL4000-C11-001, não disponibilizado. Dessa forma, o sistema avaliado não conta com função de parada de emergência independente do CLP, o que constitui uma limitação de segurança da plataforma e deve ser explicitado em qualquer uso didático.

Na estratégia autoral revisada, conflitos de classificação e timeouts de avanço, passagem ou recuo desativam as saídas Q0.1, Q0.2 e Q0.3, bloqueiam novo ciclo e exigem rearme deliberado. Essa resposta lógica melhora o comportamento funcional, mas não substitui arquitetura de segurança apropriada, avaliação de risco e dispositivos certificados quando aplicáveis.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Validação funcional inicial

Tabela 1 – Resultados agregados dos ensaios

Grupo	Critério	Cilindro	Ciclos	Acertos	Taxa
A	Metálico	CY2	20	20	100%
B	Não metálico	CY3	20	20	100%
C	Altura	CY4	20	20	100%
D	Alternadas	CY2/CY3/CY4	30	30	100%
Total	Todos	—	90	90	100%

Fonte: Dos autores (2026)

A proporção observada de separações corretas foi de 90/90. O intervalo exato de confiança de 95% de Clopper-Pearson situa-se entre 95,98% e 100%, evidenciando que a ausência de falhas na amostra não implica confiabilidade perfeita do sistema. Os resultados referem-se à estratégia utilizada durante os ensaios iniciais e não constituem validação experimental da estratégia sequencial aprimorada, cuja avaliação permanece como etapa posterior do estudo.

4.2 Temporização, intertravamento e reprodutibilidade

O resultado agregado demonstra que a versão autoral inicial operou nas condições didáticas relatadas, mas não elimina a vulnerabilidade das Networks 1 a 3. A consulta ao projeto de referência confirmou que o endereço usado como F1 correspondia a um sensor de tamanho e que a bancada dispõe de sinais específicos de rampa e posição.

O GRAFCET revisado estabelece intertravamento por estado, confirmação de avanço, confirmação de passagem e confirmação de recuo. Essa abordagem responde às críticas de retenção e de acionamento simultâneo. Contudo, como a implementação revisada ainda não foi transferida ao CLP e reensaiada, ela é apresentada como resultado de projeto e não como desempenho experimental concluído.

A caracterização técnica permitiu identificar a quantidade e a função dos sensores fotoelétricos, a função dos sensores FC1 a FC3, a associação das eletroválvulas aos respectivos atuadores e o mapeamento das entradas e saídas. Permanecem como limitações o modelo da interface de potência, a configuração direcional das válvulas, a topologia da emergência, a velocidade linear e a ausência do registro individual dos 90 ciclos.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

4.3 Potencial de aplicação didática

A bancada apresenta potencial de aplicação didática por permitir a integração, em uma mesma atividade experimental, de sensores industriais, mapeamento de entradas e saídas, programação de CLPs, modelagem sequencial, acionamentos pneumáticos, monitoramento on-line e diagnóstico de falhas. A possibilidade de relacionar os estados lógicos do programa ao comportamento físico dos sensores e atuadores favorece atividades de programação, comissionamento e análise de sequências automatizadas. Entretanto, o estudo não avaliou indicadores de aprendizagem, desempenho de estudantes ou percepção docente, não sendo possível inferir eficácia pedagógica a partir dos resultados apresentados.

5 CONCLUSÃO

A estratégia de controle inicialmente implementada realizou 90 separações corretas em 90 ciclos nas condições experimentais avaliadas. O intervalo exato de confiança de 95%, situado entre 95,98% e 100%, indica que o resultado observado deve ser interpretado dentro das condições específicas do ensaio e não como evidência de confiabilidade industrial.

A análise funcional identificou limitações relacionadas ao uso de temporização fixa para posicionamento, à dependência do mesmo sinal para interrupção e retomada do transporte e à ausência de intertravamento simétrico entre os atuadores. A caracterização dos dispositivos e do mapeamento de entradas e saídas permitiu estabelecer uma estratégia sequencial baseada em eventos físicos do processo.

Como resultado do aprimoramento, foi desenvolvida uma estratégia com memorização da classificação, acionamento exclusivo dos atuadores, confirmação de avanço, detecção da peça na rampa, confirmação de recuo e supervisão temporal de falhas. Essa abordagem reduz a dependência de tempos fixos e estabelece condições explícitas para a evolução da sequência operacional.

A estratégia aprimorada requer validação experimental específica para que seu desempenho possa ser comparado ao da implementação inicialmente ensaiada. Estudos posteriores também devem caracterizar a velocidade linear da esteira, a interface de potência do motor, a configuração direcional das eletroválvulas e o comportamento do circuito de emergência. A bancada apresenta potencial para atividades práticas de automação industrial, embora os resultados deste estudo não permitam inferir sua eficácia pedagógica.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

REFERÊNCIAS

BALL, Ken. **How Programmable Logic Controllers Emerged from Industry Needs**. [*S. l.*], 2008. Disponível em: https://www.controleng.com/how-programmable-logic-controllers-emerged-from-industry-needs/. Acesso em: 30 abr. 2026.

BHAT, Ritesh *et al.* Design and simulation of a PLC-controlled omni wheel conveyor sorting system for high-speed material handling. **Scientific Reports**, Londres, vol. 15, nº 1, p. 10, 2025. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-025-13164-3.pdf. Acesso em: 29 abr. 2026.

EXXER; SOUZA, Matheus Gonçalves de. **AUAPL4000-C11-001: banco de ensaios em processos de manufatura com dispositivo de comando**. 1. ed. Santa Rita do Sapucaí: Exxer, 2025.

FAWZI, Al Zahraa N.; SALLOOM, Maher Y. Developing Multiple-Actuator Pneumatic Circuits Using the Karnaugh Maps Designing PLC Controlled. **Journal Européen des Systèmes Automatisés**, Edmonton, vol. 56, nº 2, p. 245–252, 2023. Disponível em: https://iieta.org/download/file/fid/98432. Acesso em: 29 abr. 2026.

FESTO DIDACTIC SE. **MPS®-D Systems: Mechatronic systems for world champions**. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2020.

IMNADIR *et al.* Automatic Control of Bottle Contents and Separation of Empty Bottles in Packaging Process Using Programmable Logic Controller Siemens S7-1200. **Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace, Science and Engineering**, Pekanbaru, vol. 68, nº 2, p. 88–98, 2024. Disponível em: https://isomase.org/Journals/index.php/jomase/article/view/368/242. Acesso em: 29 abr. 2026.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60848:2013 GRAFCET specification language for sequential function chartsIEC**. Geneva, Switzerland, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2013. Disponível em: https://cdn.standards.iteh.ai/samples/19077/a0175aea9c504229beb0d6b01861b5d0/IEC-60848-2013.pdf. Acesso em: 29 abr. 2026.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60947-5-2:2007+A1:2012: Low-voltage switchgear and controlgear – Part 5-2: Control circuit devices and switching elements – Proximity switchesIEC**. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2012. Disponível em: https://webstore.iec.ch/en/publication/3988. Acesso em: 29 abr. 2026.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61131-3:2025 Programmable controllers – Part 3: Programming languagesIEC**. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2025. Disponível em: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/6f671165-562c-4943-bdc7-92b9acf0c495/iec-61131-3-2025. .

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. tradução: Daniel Moreira Miranda. 1ª ediçãoed. São Paulo: Edipro, 2016.

ISSN 1983-1838
(DOI): 10.18624/e-tech.v19i1.1497

SICK AG. **Data sheet GRL18S-P2336: GR18 Photoelectric Sensors**. Waldkirch: SICK AG, 2026. Disponível em: https://www.sick.com/media/pdf/1/51/351/dataSheet_GRL18S-P2336_1058192_nl.pdf. Acesso em: 29 abr. 2026.

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT. **SIMATIC S7-1200 Programmable Controller: System Manual**. Nürnberg, Germany: [*s. d.*], 2024. Disponível em: https://support.industry.siemens.com. Acesso em: 30 abr. 2026.

SILVA, Edilson Alfredo da. **Introdução às linguagens de programação para CLP**. 1ª edição digitaled. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2018.

TRY WARDHANA, Agum; ZAMHERI, Ahmad; PUSPA, Dilia. Implementation Of PLC Based Automatic Sorting System. **Austenit Journal**, Palembang, vol. 15, nº 1, 2023. Disponível em: http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit.

VAGAS, Marek *et al.* Implementation Of IO-Link Technology Into The Handling And Sorting Sub-Station Of The Festo Fms 500 Automated Line. **MM Science Journal**, Praga, p. 7348–7351, 2024a. Disponível em: https://www.mmscience.eu/journal/issues/june-2024/articles/implementation-of-io-link-technology-into-the-handling-and-sorting-sub-station-of-the-festo-fms-500-automated-line/download. Acesso em: 29 abr. 2026.

VAGAS, Marek *et al.* IMPLEMENTATION OF IO-LINK TECHNOLOGY INTO THE HANDLING AND SORTING SUB-STATION OF THE FESTO FMS 500 AUTOMATED LINE. **MM Science Journal**, [*s. l.*], vol. 2024, p. 7348–7351, 2024b.

YADHUNANDAN, D; VINODKUMAR, H. P. Design and Development of PLC Controlled Pneumatic Pressing System. **International Journal of Engineering Research & Technology**, Ahmedabad, vol. 12, nº 12, p. 1–6, 2023. Disponível em: https://www.ijert.org/research/design-and-development-of-plc-controlled-pneumatic-pressing-system-IJERTV12IS120057.pdf. Acesso em: 29 abr. 2026.